

# Variación anual de las principales variables oceanográficas y planctónicas en una estación nerítica del mar Balear

M. L. Fernández-Puelles<sup>1</sup>, J. Jansá<sup>1</sup>, C. Gomis<sup>2</sup>, D. Gras<sup>2</sup> y B. Amengual<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Oceanográfico de Baleares. Instituto Español de Oceanografía. Apdo. 291.  
07080 Palma de Mallorca, España.

<sup>2</sup> Instituto de Ecología Litoral. 03560 El Campello (Alicante), España.

## RESUMEN

Se describe el patrón de variación temporal de las principales variables oceanográficas entre abril de 1993 y abril de 1994, así como el de las comunidades de fito y zooplancton, en una estación nerítica (a 76 m) al suroeste de la isla de Mallorca. El muestreo hidrográfico permitió observar una distribución del régimen térmico típica del Mediterráneo occidental, siendo un año relativamente cálido con temperaturas que oscilaron entre 13,5 y 26,7 °C, y una salinidad entre 36,7 y 38,2 ups. Una termoclina estacional, entre 20 y 50 m de profundidad, condicionó la producción biológica durante seis meses del año, restringiendo los máximos a las capas más profundas. Durante el invierno, las aguas salinas del norte del Mediterráneo que se registraron en la zona originaron un corto pero importante florecimiento fitoplanctónico (1,11 µg de Chl a/l), lo que condicionó un pico de zooplancton (5 450 indiv/m<sup>3</sup>) a comienzos de marzo. El máximo valor de fitoplancton, sin embargo, se detectó a finales de la primavera debajo de la termoclina (1,75 µg de Chl a/l), dando lugar al máximo zooplanctónico anual en el periodo estival (6 192 indiv/m<sup>3</sup>). El grupo de los copépodos fue predominante (62 %) siendo máximo en invierno (98 %) y mínimo en verano (40 %) cuando otros grupos, como cladóceros y larvas de moluscos, aumentaron en número considerablemente. El valor medio se estimó en 1 842 indiv/m<sup>3</sup>, con una biomasa de  $7,34 \pm 3,79$  mg peso seco/m<sup>3</sup>.

Se pone de manifiesto la importancia de procesos cortos y rápidos en el desarrollo de los picos de abundancia planctónica, resaltando la enorme complejidad estructural de sus comunidades fuertemente influidas por la zona de transición hidrológica en que nos encontramos, entre aguas del norte y sur del Mediterráneo occidental.

**Palabras clave:** Ciclo anual, comunidades planctónicas, temperatura, salinidad, nutrientes, Mediterráneo occidental.

## ABSTRACT

Annual variations of major oceanographic and planktonic variables at a neritic station in the Balearic Sea (1993-1994).

Seasonal variations between April 1993 and April 1994 of the major oceanographic parameters, as well as planktonic communities, of a neritic station (at 76 m) in the Balearic Sea are described. Hydrographic sampling shows a typical Western Mediterranean thermic regime, with temperatures ranging from 13.5 to 26.7 °C, and salinity values from 36.7 to 38.1 psu. During six months, a seasonal thermocline at a depth of 20-50 m conditioned all biological distribution. The winter homothermia, with typical Mediterranean waters, triggered a short but intense fitoplanktonic bloom in the water column (1.11 µg Chl a/l) where the diatoms were most abundant, providing a zooplanktonic peak in March (5 940 indiv/m<sup>3</sup>). However, a fertilisation process appeared below the thermocline in late spring, when the phytoplankton maximum was found (1.75 µg Chl a/l), producing the highest zooplankton peak in summer (6 192 indiv/m<sup>3</sup>). Copepods were the most abundant zooplankton (62 %), although during summer other seasonal groups were also very abundant, such as cladocerans and Mollusca larvae. The estimated annual zooplankton average was 1 842 indiv/m<sup>3</sup> and  $7.34 \pm 3.79$  mg dry weight/m<sup>3</sup>.

*These oceanographic variables' variations over time highlight the short-lived, rapidly developing processes occurring in the area, whose hydrography has a strong impact on the distribution of planktonic communities. A complex planktonic structure can be seen in this hydrological transition area between the northern and southern waters of the Western Mediterranean.*

**Key words:** Annual cycle, planktonic communities, temperature, salinity, nutrients, Western Mediterranean.

## INTRODUCCIÓN

Aunque existen diversos estudios basados en la variación temporal de las comunidades planctónicas en áreas costeras del Mediterráneo occidental (Margalef y Herrera, 1963; Herrera y Margalef, 1963; Vives, 1966; Rodríguez, 1982; Rodríguez, 1983; Seguin, 1981; Boucher, Ibáñez y Prieur, 1987; Bustillos-Guzmán, Claustre y Marty, 1995), estos son escasos en el mar Balear. La dificultad de acceso a zonas de mar abierto ha hecho que la mayor parte de estos trabajos en el área se remitan a bahías, puertos y zonas semicerradas, cuyas características físicas son tan particulares que no han sido las más adecuadas para establecer un patrón de distribución planctónica más general (Jansá, 1985; Jansá y Carbonell, 1988; Salvá y Fernández de Puelles, 1992; Jansá *et al.*, 1994). Por otro lado, en la mayor parte de los casos el periodo de muestreo ha sido demasiado extenso para poder captar las variaciones más importantes y las causas que lo originan. El resto de la información recogida en el área es fruto de campañas oceanográficas intensivas en ciertos momentos del año que, ofreciendo una buena información espacial, tienen poco significado temporal real (Vives, 1989; Estrada, Vives y Alcaraz, 1989; Fernández de Puelles, 1990; Jansá y Fernández de Puelles, 1990).

La situación estratégica de las islas Baleares, auténtica barrera topográfica en la dirección SO-EN entre la cuenca noroccidental y la argelina, confiere al mar Balear la característica de zona de transición entre masas de agua de origen diferente (Furnesin, 1960; Salat y Cruzado, 1981). Por un lado el golfo de León, con aguas frías de

alta salinidad, y por otro, el mar de Alborán, directo receptor de agua atlántica, con temperaturas más suaves y menos salinas, hacen que esta zona central del Mediterráneo occidental, y especialmente los canales entre las islas Baleares, sea sumamente interesante de estudiar desde el punto de vista hidrográfico (La Violette, Tintoré y Font, 1990) y del seguimiento de las comunidades planctónicas.

Con estos antecedentes, en abril de 1993 se eligió una zona en el suroeste de la isla de Mallorca, sobre la plataforma insular que, aunque costera, estuviera abierta a la corriente general que circula entre las islas y que por su topografía fuera directa receptora de aguas lejanas y profundas, tomándola como representativa de la zona nerítica del mar Balear.

La escala de tiempo a la que debe trabajarse es importante para describir el patrón temporal de las comunidades planctónicas e interpretar debidamente sus fluctuaciones, lo que resulta especialmente complicado si tenemos en cuenta que el tiempo de variación de las distintas variables es diferente y que, a medida que descendemos en la red trófica, aquél se hace más corto. Considerando que el objetivo general del presente trabajo era conocer la variación anual de las principales comunidades planctónicas y las variables abióticas que más pudieran influir sobre la dinámica de dichas comunidades, el periodo de 8-10 días se consideró suficiente para recabar tal información.

Este objetivo es parte del proyecto internacional Hercule, cuyo propósito principal es averiguar, durante al menos una serie temporal, la relación entre la variación del plancton y el cambio climático global a

escala del mar Mediterráneo (estaciones fijas a la misma profundidad y similarmente muestreadas). Los datos que aquí se presentan son el resultado del primer año de muestreo en una estación nerítica del mar Balear desde que el proyecto comenzó en abril de 1993.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El punto de muestreo elegido (figura 1) fue una estación fija situada al suroeste de Mallorca, en la plataforma insular, a 76 m de profundidad y 2,5 millas de la costa ( $39^{\circ} 28' 54''$  N;  $02^{\circ} 25' 57''$  E) con la embarcación *Arola* de 6 m de eslora del Centro Oceanográfico de Baleares del IEO. El muestreo se realizó cada 8-10 días y los datos que aquí se exponen son el resultado del periodo comprendido entre abril de 1993 y abril de 1994.

La capa de agua analizada fue la comprendida entre 0 y 75 m, colocándose las

botellas hidrográficas Niskin de 3 litros de capacidad a las profundidades fijas de 0-15-25-50 y 75 m. Los datos de temperatura y salinidad fueron tomados con un sensor de temperatura y salinidad marca WTW, tipo LF196, que mensualmente se validaba con los termómetros de inversión de las botellas hidrográficas; así mismo se tomaban siempre muestras de salinidad, siendo posteriormente analizadas en el laboratorio con un salinómetro Autosol 8400A. En la primavera de 1993 y en el año 1994 también se tomaron registros de temperatura y salinidad con un CTD Sbe19.

La profundidad de la capa fótica fue estimada con un disco Secchi de 30 cm de diámetro, calculando el coeficiente de extinción ( $K$ ), según propone Weinberg (1976), mediante el ajuste de la función exponencial  $I_z = I_0 e^{-Kz}$ . La muestra de agua destinada al estudio de sales nutritivas (fosfatos, nitratos, nitritos y silicatos) era congelada a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis posterior en laboratorio mediante un autoanalizador

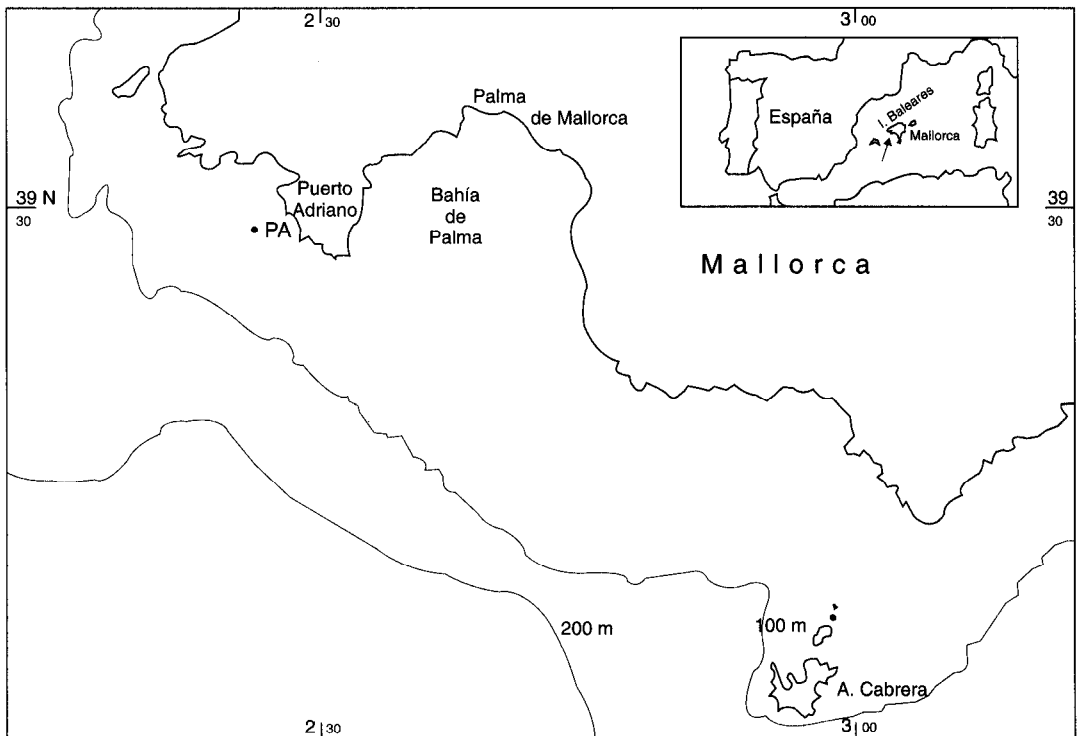


Figura 1. Situación de la estación de muestreo (PA) en la plataforma de la isla de Mallorca (mar Balear).

Technicon AAI, siguiéndose para ello el método recomendado por Armstrong, Sterns y Strickland (1967) y Treguer y Le Corre (1975).

Para la determinación de los pigmentos fotosintéticos (clorofila *a*), se filtraron 1,5 litros de agua sobre filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C; una malla de 20  $\mu\text{m}$  se superponía sobre el filtro anterior para conocer la importancia de esta fracción en la columna de agua, congelándose posteriormente ambas a  $-20^\circ\text{C}$ .

En el laboratorio se procedió a su análisis por fluorimetría (Holm-Hansen *et al.*, 1966) con un espectrofluorímetro Perkin-Elmer 204 calibrado por absorciometría y siguiendo el protocolo recomendado en la bibliografía (anónimo, 1966).

Para el estudio de las células fitoplanctónicas se tomaron 250 ml de agua de mar, fijándose con formol tamponado con hexa metilentetramina al 2%, y procediéndose posteriormente a su clasificación y conteo por el método de Utermöhl (Sournia, 1978). El índice de Shannon-Weaver fue el utilizado para la determinación de la estructura de la comunidad y el tratamiento de los datos posteriores según recomendaciones de Margalef (1986).

Los muestreos de zooplancton se hicieron con una red bongo de 20 cm de diámetro de boca y 2 mallas de 100 y 250  $\mu\text{m}$  de abertura de poro, con objeto de recoger la fracción de mesozooplancton y sus larvas. Los arrastres fueron dobles oblicuos y en el interior de la red se colocó un flujómetro General Oceanic 2030 para determinar la cantidad de agua filtrada en cada lance.

Tras la división de las muestras en dos alícuotas con el subdivisor Folsom, la parte destinada a biomasa se congelaba a  $-20^\circ\text{C}$  y la de estructura se fijaba en formaldehído tamponado al 4%. Los resultados de la biomasa se expresaron como peso seco y peso seco sin cenizas (materia orgánica en  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), siguiendo las recomendaciones de Lovegrove (1966), anónimo (1968), Le Borgne (1975) y Boltovskoy (1981). Las muestras para composición eran subdivididas según la abundancia total de individuos de la muestra, estudiándose al menos dos

alícuotas completas, ofreciéndose los resultados en número de individuos por  $\text{m}^3$  de agua filtrada, según recomendaciones de Horwood y Driver (1976).

Ya que se trataba de describir la fluctuación de los distintos parámetros, para la elaboración final de los datos y presentación de resultados se ha usado generalmente la representación de cada variable por isolíneas y tramas donde se muestra la variación temporal por niveles de muestreo.

Así mismo se tomaron muestras de sedimento del fondo de la estación mediante una draga Van Veen, congelándose inmediatamente tras su recogida. Los análisis fueron realizados en el Centro Oceanográfico de Málaga del IEO, donde se observó que las arenas de tipo medio representaban un 90% del sedimento total (Alonso y Díaz del Río, com. pers.).

Los datos que se manejan en el estudio climatológico, como precipitaciones y temperatura del aire, se han tomado del boletín que edita mensualmente el Centro Meteorológico Territorial de Baleares.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características hidrológicas

#### *Situación térmica*

La variación anual de temperatura superficial durante el periodo de muestreo presentó una oscilación de  $13^\circ\text{C}$  ( $13,7^\circ\text{C}$  en el mes de febrero y  $26,7^\circ\text{C}$  a finales del mes de agosto), obteniéndose un valor medio de  $19,5^\circ\text{C}$ . A 75 m de profundidad la oscilación fue de  $2^\circ\text{C}$ , con mínimos en el mes de febrero de  $13,4^\circ\text{C}$  y máximos de  $15,6^\circ\text{C}$  a finales del verano. El gráfico de la variación temporal de la temperatura con la profundidad puede verse en la figura 2 donde se observa el régimen térmico típico del Mediterráneo occidental, con una marcada termoclina estacional durante seis meses al año y tres meses de mezcla vertical.

En la misma figura se puede observar el fuerte gradiente vertical de temperatura



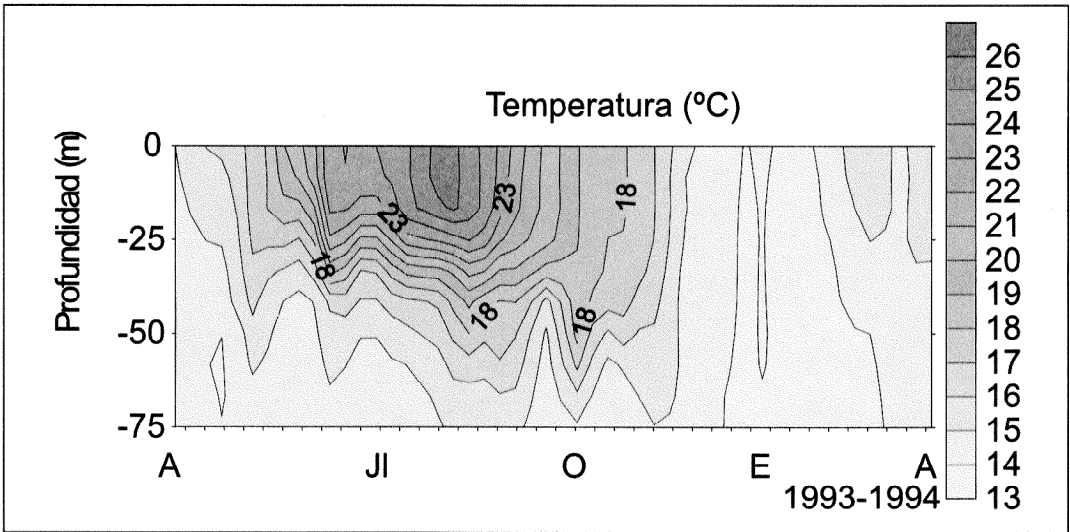


Figura 2. Variación temporal de temperatura en relación con la profundidad en la estación de muestreo (abril 1993-abril 1994).

donde, después de la homotermia de los meses invernales ( $13,4^{\circ}\text{C}$ ), comenzó a formarse suavemente la termoclina a finales del mes de marzo, sobre los 20 m y profundizando gradualmente hasta llegar a los 50 m

al final del mes de agosto, momento en que se alcanzó la máxima estratificación la columna de agua. Con la llegada del otoño meteorológico, y asociado con las tormentas de finales de verano (abundantes en este

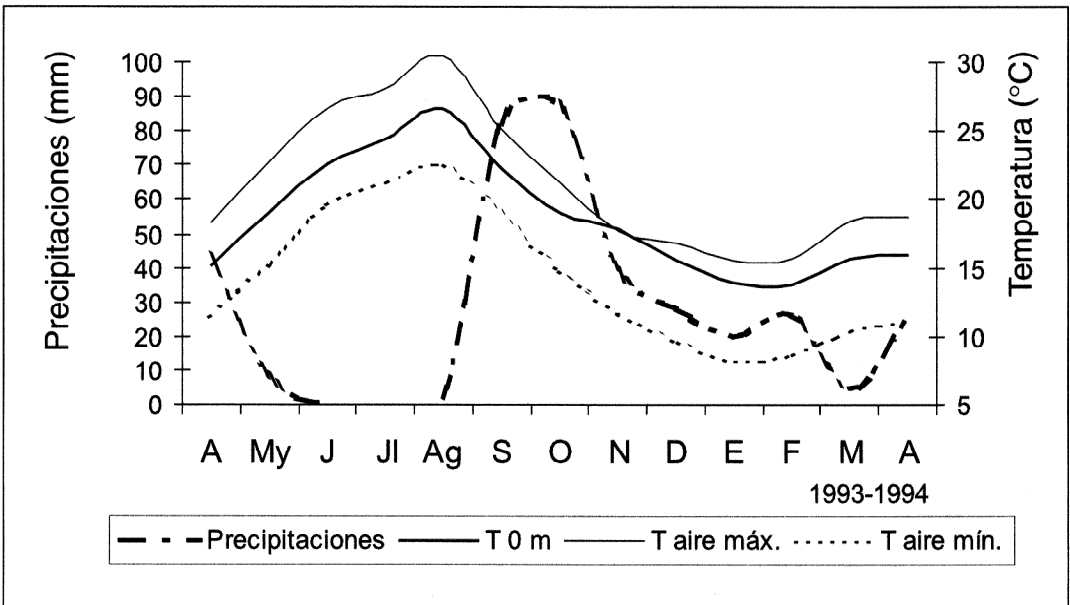


Figura 3. Relación de la temperatura en superficie ( $T\ 0\ \text{m}$ ), temperatura del aire máxima ( $T\ \text{aire máx.}$ ) y mínima ( $T\ \text{aire mín.}$ ) y precipitaciones durante el año de estudio.

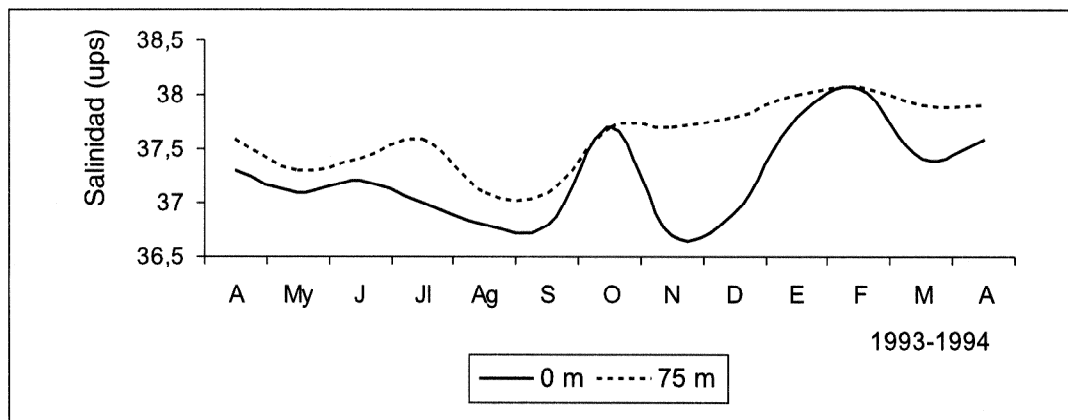


Figura 5. Variación anual de la salinidad en superficie y 75 m durante el año de estudio.

año), comenzó a descender la temperatura superficial, rompiéndose la termoclina que sólo desaparecería totalmente bien entrado el mes de diciembre. La variación de los valores de temperatura del agua del mar en superficie, la temperatura del aire (máxima y mínima) y las precipitaciones ocurridas en la zona se presentan en la figura 3, donde se aprecia el periodo seco y el periodo húmedo. Siendo este último especialmente intenso en los meses de septiembre, octubre y noviembre de 1993.

#### *Situación salina*

La salinidad varió entre las 36,7 ups de los meses de agosto y septiembre y las 38,1 ups de los meses de febrero y marzo. La variación anual de esta variable en relación con la profundidad se representa en la figura 4, donde se observan oscilaciones irregulares de corto periodo, aunque la tendencia de los valores medios de la columna de agua mostró que los máximos correspondieron casi siempre a los meses inverna-

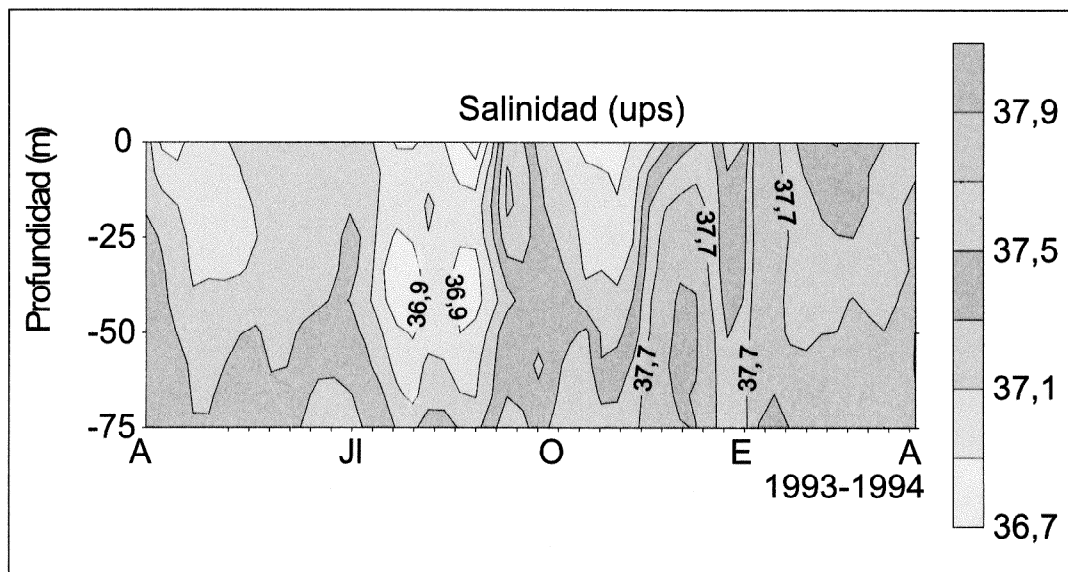


Figura 4. Variación anual de la salinidad en relación con la profundidad (abril 1993-abril 1994).

les, mientras los mínimos se asociaron al periodo estival. Los valores bajos observados, sólo en superficie, entre octubre y diciembre (figura 5) fueron debidos a las intensas lluvias caídas en el periodo del que ya se ha hablado.

Si bien las variaciones de temperatura a lo largo del año vienen prácticamente determinadas por el ciclo anual térmico atmosférico, el factor salinidad va a estar estrechamente ligado al tipo de masa de agua presente en cada momento, especialmente si en la zona consideramos pasajeras y despreciables las posibles diluciones debidas al aporte continental.

### Masas de agua

Aunque en general fue difícil apreciar un patrón claro de distribución, tanto vertical como horizontal, a lo largo del año de estudio, los máximos valores de salinidad durante los meses invernales (más de 38 ups) y los mínimos valores de temperatura (alrededor de los 13 °C) indicaban la presencia en la zona de aguas superficiales procedentes del norte del Mediterráneo occidental; desde finales de primavera y

durante el verano la salinidad inferior a 37 ups y las temperaturas superiores a 16 °C indicaban la presencia de aguas de tipo y procedencia atlántica. Diferentes autores (La Violette, Tintoré y Font, 1990; García *et al.*, 1994) han citado la fuerte variabilidad espacio-temporal existente en todo el mar Balear, fruto de las diferentes masas de agua que lo transitan, donde los canales entre las islas actúan especialmente como áreas de transición entre el norte y el sur del Mediterráneo occidental. La mayor o menor influencia de una u otra masas de agua en las costas del mar Balear no parece ser igual a lo largo de los años, variando no sólo en función de la dinámica de la zona sino de la hidrografía de los mares adyacentes (García *et al.*, 1994; López-Jurado *et al.*, 1996). Todo lo expuesto da un carácter intermedio al área y dificulta la posibilidad de definir hidrológicamente la capa de agua que ocupa la zona, máxime cuando, salvo en las épocas más claras citadas anteriormente, los caracteres de mezcla suelen estar presentes, oscilando en el tiempo desde el tipo más atlántico de los meses estivales al tipo de agua superficial septentrional de los meses invernales y principios de primavera.

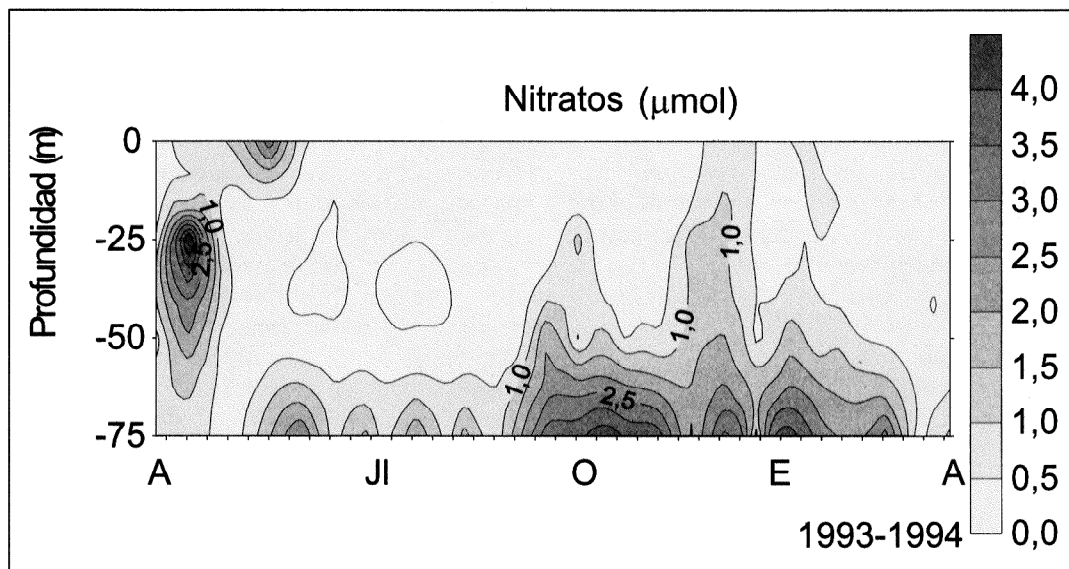


Figura 6. Variación temporal de las concentraciones de nitratos ( $\mu\text{mol}$ ) con la profundidad durante el año de estudio.

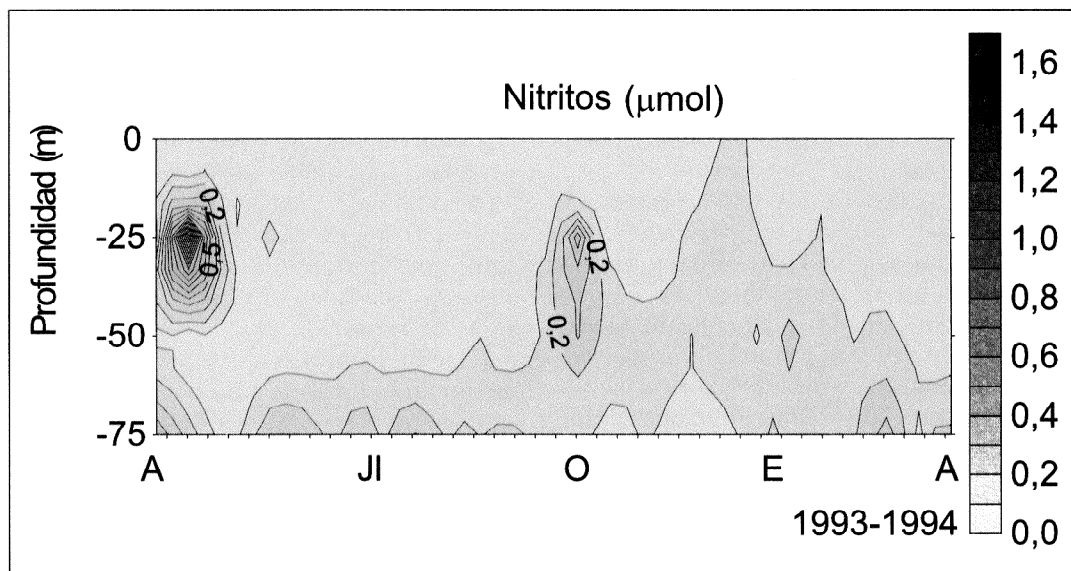


Figura 7. Variación temporal de las concentraciones de nitritos ( $\mu\text{mol}$ ) con la profundidad durante el año de estudio.

### Sales nutritivas

La variación temporal de las concentraciones de nitratos en relación con la profundidad se representa en la figura 6, donde se observa que, salvo en el fondo de la estación, los valores fueron muy bajos, prácticamente indetectables durante el verano. Sólo en el otoño, al romperse la termoclina, se observó un aporte de nitratos a los niveles superficiales de la columna de agua (superior a  $1 \mu\text{mol}$ ), circunstancia que prepararía el entorno apropiado para el crecimiento y desarrollo del fitoplancton a comienzos del invierno. Así mismo, durante la primavera se observó un incremento en la concentración de nitratos (más de  $2,5 \mu\text{mol}$ ), especialmente en los niveles intermedios de la zona de estudio.

En general, los valores de nitratos encontrados a lo largo del año fueron bastante bajos con un valor medio de  $0,67 \mu\text{mol}$  y un rango de variación entre  $0,08$  y  $4,83$  ( $n = 150$ ). Los valores mínimos siempre han correspondido a la superficie, durante la época estival, apareciendo los máximos en profundidad, tanto durante el periodo otoñal como en el invernal.

Las concentraciones de nitritos (figura 7) parecen seguir una misma pauta en su distribución temporal, aunque los valores fueron inferiores al de los nitratos, calculándose el valor medio de  $0,09 \mu\text{mol}$  y un rango de variación entre  $0,55 \mu\text{mol}$  y  $0,02 \mu\text{mol}$  en abril y agosto, respectivamente. En el mes de abril se alcanzaron valores especialmente altos, hasta de  $1,5 \mu\text{mol}$  a  $25 \text{ m}$  de profundidad; aunque, en el mes de octubre, las concentraciones encontradas en niveles medios tampoco fueron despreciables ( $0,6 \mu\text{mol}$ ). Salvando estos momentos, las concentraciones de nitritos fueron bajas, si bien, en las proximidades del fondo se observaron los valores más altos (próximos a  $0,2 \mu\text{mol}$ ), lo que pudiera estar influido por la proximidad del sedimento del último nivel muestreado. Por otro lado, las concentraciones de nitritos superiores en los niveles medios de la columna de agua, en los meses de abril y octubre, podrían tener relación con aportes de origen terrestre debido a las mayores precipitaciones ocurridas durante estos meses.

La variación temporal de las concentraciones de fosfatos se representa en la figura 8, donde puede observarse una ligera fluctuación estacional dentro de la notable

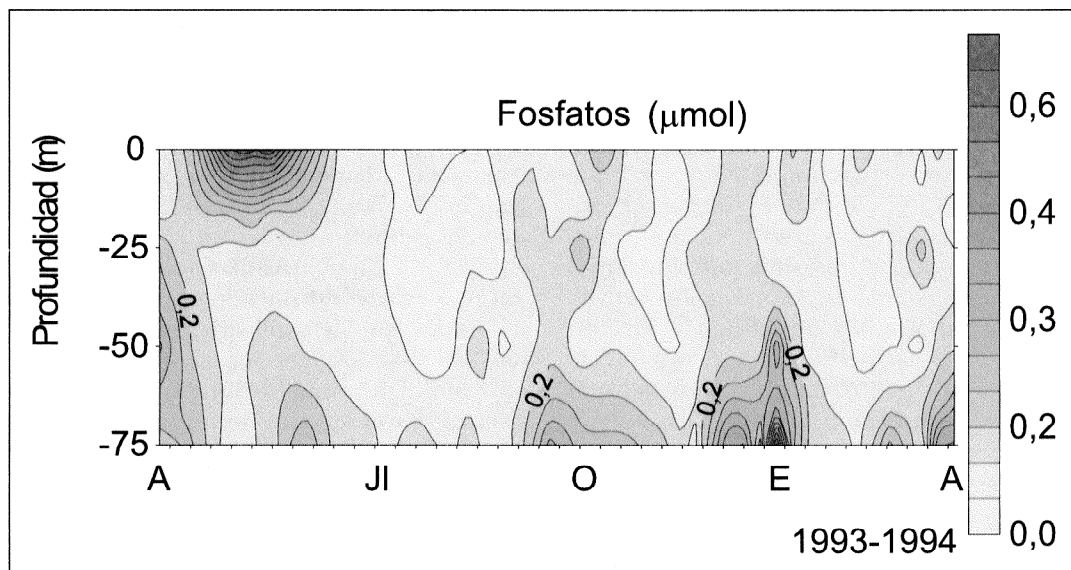


Figura 8. Variación temporal de las concentraciones de fosfatos ( $\mu\text{mol}$ ) con la profundidad durante el año de estudio.

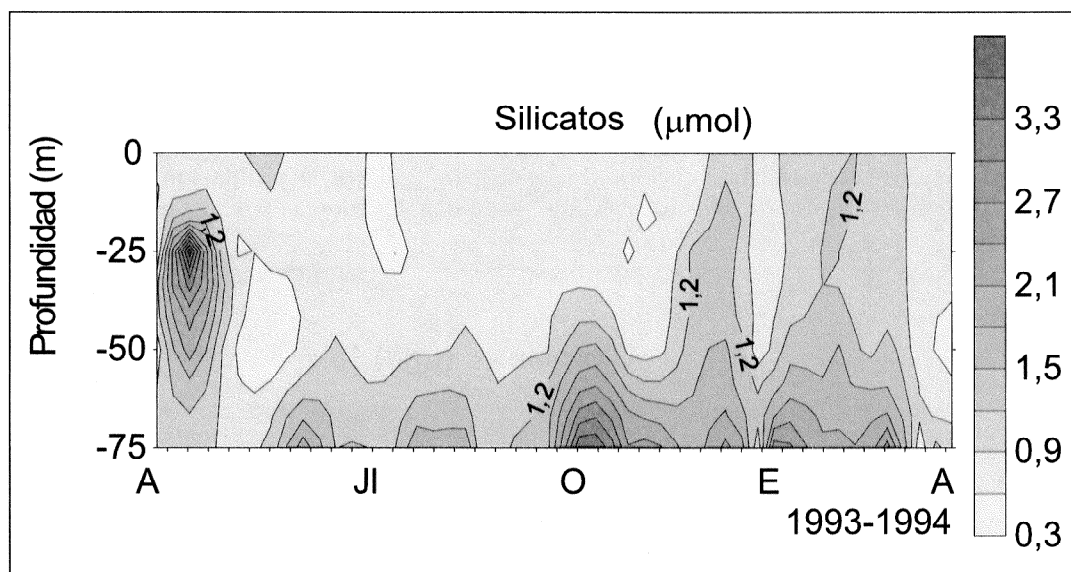


Figura 9. Variación temporal de las concentraciones de silicatos ( $\mu\text{mol}$ ) con la profundidad durante el año de estudio.

pobreza de este nutriente. Su valor medio anual fue de  $0,12 \mu\text{mol}$ , con un rango de oscilación entre  $0,03$  y  $0,31$ , valores todos ellos que han seguido una pauta similar a los otros nutrientes, siendo prácticamente indetectables en los niveles superficiales durante el periodo estival. Todos los valores

hallados, aunque muy bajos, han guardado relación con los datos de mar abierto recogidos por diferentes autores en la zona del mar Balear (Ballester *et al.*, 1967; Forteza, Martínez Taberner y Moyá, 1988).

Por último, las concentraciones de silicatos (figura 9) presentaron un valor medio

anual de  $1,01 \mu\text{mol}$ , con valores máximos en invierno y primavera y mínimo en verano, con un rango que osciló entre  $0,56 \mu\text{mol}$  en el mes de agosto y  $3,27 \mu\text{mol}$  en diciembre. Al observar la variación temporal de este nutriente se apreció que, al igual que lo ocurrido con los otros nutrientes, los valores máximos correspondieron a los niveles más profundos, si bien desde el mes de octubre, y tras la desertización estival, aportes importantes de silicatos entraron en la capa fótica, permaneciendo en toda la columna de agua hasta principios del mes de enero. Es este contenido en sales nutritivas en niveles superficiales, junto a la homotermia fría ocasionada por la notable turbulencia vertical de la época, lo que permitió y preparó el camino para el crecimiento del fitoplancton. A finales del mes de enero se observó un notable descenso de este nutriente en toda la columna de agua ( $0,8 \mu\text{mol}$ ), volviendo a encontrarse concentraciones altas dos semanas más tarde ( $2,6 \mu\text{mol}$ ), periodo que, al coincidir con el máximo invernal de clorofila *a*, indicaba la rápida asimilación por parte del fitoplancton, agotando prácticamente dicho nutriente. Tras este corto periodo de tiempo, una redisolución de silicatos volvió

a aparecer en el medio, manteniéndose en la columna de agua concentraciones importantes durante varios meses.

Con el análisis del fitoplancton se observó que la variación de los silicatos iba ligada al papel fundamental que las diatomeas juegan en el área, ya sea en su fase inicial de rápida asimilación o en las fases finales de concentración de frústulas no digeridas por un proceso de hidrólisis inorgánica. De esta manera se puede explicar el segundo máximo de silicatos que siguió a la floración invernal. Durante el resto del año se sucedieron suaves aportes de silicatos de manera irregular.

Así, el análisis de la variación temporal de los nutrientes estudiados pone de manifiesto la notable pobreza de la zona, en conexión con el carácter general de las capas superficiales del mar Balear. Y aunque la actividad biológica sea uno de los factores determinantes en la distribución de estos nutrientes parece que aportes ligados a las condiciones hidrológicas enriquecen esporádicamente el área. No obstante, los valores más altos encontrados cerca del fondo, especialmente durante el otoño, indicaron que una mayor acumulación de materia orgánica durante la época de estratificación

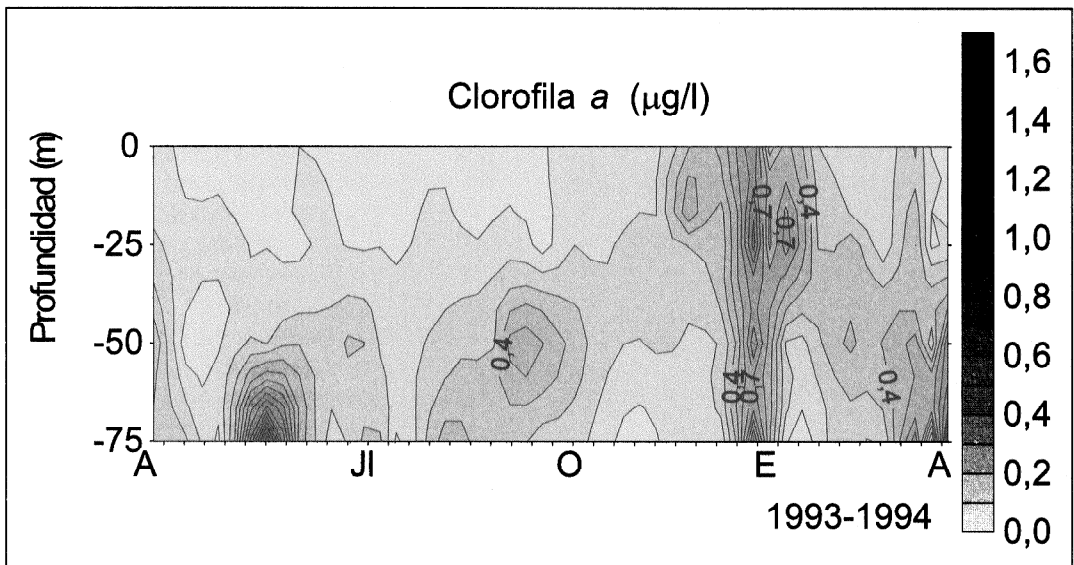


Figura 10. Variación temporal de la clorofila *a* ( $\mu\text{g/l}$ ) relacionada con la profundidad a lo largo del año de estudio.

que posteriormente se ha mineralizado. Las precipitaciones intensas del mes de abril de 1993 y las fuertes tormentas acaecidas durante el otoño, pudieron haber contribuido por un aporte de origen terrestre a un enriquecimiento de ciertos niveles.

Así, sin entrar en más particularidades que corresponderían a un estudio detallado del análisis de los nutrientes, y al alejarnos del objetivo fundamental de la descripción de las variables fisicoquímicas más importantes en la zona nerítica del mar Balear, podemos señalar que, tanto por el comportamiento estacional como por la distribución vertical observada, el patrón de variación y el rango de valores de los nutrientes analizados se encuentran dentro de los citados en la bibliografía para otras zonas pobres del Mediterráneo occidental (Margalef, 1989; Vives, 1989).

## Fitoplancton

### *Clorofila a*

La concentración media de clorofila *a*, indicativa de la biomasa fitoplanctónica, osciló entre 1,11  $\mu\text{g/l}$  en enero y 0,07  $\mu\text{g/l}$  en el mes de agosto, con un valor medio anual de 0,27  $\mu\text{g/l}$ . La variación anual se representa en la figura 10, en la que puede observarse que, salvo en el mes de enero (momento de la homotermia invernal y explosión fitoplanctónica), cuando se obtuvieron concentraciones de más de 1  $\mu\text{g/l}$  en toda la columna de agua, el resto de valores (90 %) fue generalmente inferior a 0,5  $\mu\text{g/l}$ . Sin embargo, es interesante destacar la concentración máxima de 1,73  $\mu\text{g/l}$ , aparecida el 31 de mayo a 75 m de profundidad. Así mismo, y durante todo el periodo estival, observamos, por debajo de la termoclina, concentraciones de 0,5  $\mu\text{g/l}$ , mientras en los niveles más superficiales no se superaron los 0,1  $\mu\text{g/l}$ . En el mes de octubre este máximo subsuperficial ascendió a los 25 m y, a partir de esta época, se mantuvo en los niveles más superficiales hasta principios del año 1994, momento en que tuvo lugar el máximo de fitoplancton en todos los

niveles muestreados de la columna de agua.

Durante la época estival, el máximo profundo de clorofila se situó alrededor de los 50 m, profundizando a medida que avanzaba el verano. Todo ello se corresponde con una distribución vertical típica de esta parte del Mediterráneo y que ya ha sido comentado por diferentes autores (Estrada, 1985; Margalef, 1985; Durán y Jansá, 1986; Forteza, Martínez Taberner y Moyá, 1988; Estrada, Vives y Alcaraz, 1989). Al relacionar los valores medios de clorofila con la transparencia de la capa de agua, y por tanto con la profundidad estimada de la capa fótica, no se encontró correlación aparente (lo que indicaría la importancia de sólidos en suspensión además del fitoplancton), si bien en momentos concretos, al considerar valores discretos de clorofila, parece existir una mayor relación. Así, en el momento del florecimiento masivo (*bloom*) invernal, se encontró el mínimo de transparencia de disco Secchi (15 m), lo que era de esperar; aunque el máximo de fitoplancton que se observó en las proximidades del fondo a finales de mayo coincidió con la máxima profundidad de atenuación del disco Secchi (32 m). La profundidad media de la capa fótica fue estimada en  $69,7 \pm 3,3$  m ( $n = 36$ ), similar a otras zonas de gran transparencia en el Mediterráneo occidental, donde la luz no parece ser factor limitante (Estrada, Vives y Alcaraz, 1989).

De esta forma, los movimientos convectivos y la turbulencia vertical de los meses invernales sirvieron para redistribuir el fitoplancton en la columna de agua (en ausencia de gradiente térmico); la presencia de las aguas con cierta reserva de nutrientes favoreció su desarrollo y explosión, algo que pudimos observar durante los 10 días finales del mes de enero. Sin embargo, durante los meses estivales, los máximos de clorofila en niveles intermedios parecieron producirse como consecuencia del efecto barrera de la termoclina, restringiendo el aporte de nutrientes a la superficie; simultáneamente se favorece la acumulación vertical al retrasarse la velocidad de sedimentación del fitoplancton. Estos máximos profundos de clorofila se asociaron gene-

ralmente a una mayor concentración de fitoplancton, que suponemos es debida a una mejor adaptación de las células a intensidades óptimas de luz y requerimientos de nutrientes (Bustillos-Guzmán, Claustre y Marty, 1995). Y aunque nunca se deba descartar que el estado, crecimiento y producción de las células fitoplanctónicas puedan jugar un papel predominante, no se deben excluir acumulaciones de clorofila por contenido en detritos o sedimentación (Estrada, 1985).

Los análisis de clorofila *a* de la fracción inferior a 20  $\mu\text{m}$  determinaron que prácticamente un 80 % de esta fracción predominó en el total de la biomasa fitoplanctónica a lo largo del año y solamente mientras tuvo lugar el máximo invernal la fracción predominante fue superior a 20  $\mu\text{m}$ , constituida fundamentalmente por diatomeas de tipo colonial.

#### Estudio cualitativo y abundancia

A lo largo del año de estudio la abundancia de células de fitoplancton fue pequeña, con valores en superficie entre 4 y 40 células/ml y valores más altos cerca del fon-

do que nunca excedieron de las 70 células/ml. Solamente en el mes de enero, cuando se produjo la mezcla vertical de la columna de agua, los valores más altos se encontraron cerca de la superficie, donde se contaron hasta 65 células/ml. Las bajas concentraciones celulares (normalmente inferiores a 20 células/ml) y las elevadas diversidades (normalmente mayores de 3 bits) apoyan la existencia de una comunidad fitoplanctónica muy estructurada y altamente compleja como correspondería a un sistema oligotrófico (Gomis y Fernández de Puelles, 1995). La variación de la abundancia de células fitoplanctónicas se ha representado en la figura 11, donde puede observarse su variación anual. En general, las diatomeas coloniales de los géneros *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Rhizosolenia*, *Bacteriastrum* y *Nitzschia* fueron las más abundantes; ellas presentaron en el *bloom* invernal las concentraciones más altas, algo que las cataloga como buenas indicadoras de aguas frías a cierta profundidad. Entre ellas, el grupo de las pennadas dominó con *Pseudonitzschia pungens*, *Nitzschia fraudulenta*, *Thalassionema nitzschioides* y *Thalassiothrix frauenfeldii*. *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia stollerfothii*, *R. fragilissima* y una gran cantidad de especies del género

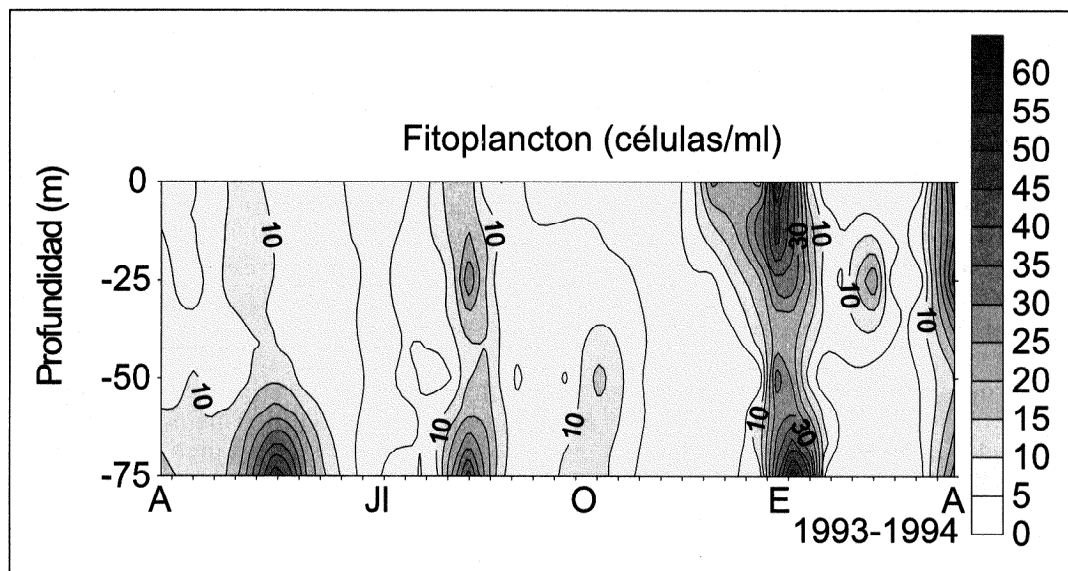


Figura 11. Variación temporal de la abundancia de células de fitoplancton (células/ml) relacionada con la profundidad durante el año de estudio.



*Chaetoceros* se destacaron entre las céntricas, que predominaron en primavera e invierno principalmente. Ya a finales de mayo, el máximo de 70 células/ml (encontrado próximo al fondo de la estación) fue debido a las diatomeas *L. danicus*, *N. delicatissima*, *N. pungens*, *C. affinis* y *C. atlanticus*. Sin duda *L. danicus* fue la más abundante en toda la columna de agua. A lo largo del año, el grupo de las diatomeas constituyó el 85 % del total, proporción característica y similar a la de otras áreas neríticas abiertas del Mediterráneo occidental (Margalef, 1989).

Los dinoflagelados fueron especialmente abundantes en los niveles superficiales en el periodo más cálido, con rango de valores entre 15-60 % del total; su diversidad más alta se obtuvo a comienzos del verano y a mediados de otoño, coincidiendo con periodos de baja concentración celular (4-10 células/ml). Especies de los géneros *Oxytoxum*, *Ceratium* y *Alexandrium* fueron también abundantes, recogiendo durante gran parte del año. Otras, como *Noctiluca seintillans* y *Kofoidinium velelloides*, así como muchos cistes de dinoflagelados, fueron más irregulares en su aparición, recogiendo generalmente en el fondo de la columna de agua.

Los cocolitofóridos fueron el tercer grupo en importancia con, en ocasiones, hasta el 15 % del total, presentándose también en los niveles más profundos; entre ellos, *Calcosolenia murrayi*, *Discosphaera tubifera* y *Rhabdosphaera clavigera* fueron los más abundantes. Durante el invierno, el silicoflagelado *Dyctiocha fibula* fue el más representativo, aunque durante el verano es destacable la presencia de *D. octonaria* en los niveles profundos. Aunque más esporádicamente, también se recogieron diferentes especies de otros grupos (criptomonadales, cianofíceas y crisofíceas) que sólo presentaron abundancias en momentos puntuales y niveles concretos. Destacando la presencia de *Spirulina* sp. durante todo el año en los 50 y 75 m de profundidad.

En general, y como era de esperar, las diatomeas fueron abundantes en épocas de mezcla vertical, cuando la reserva de nutrientes era importante en la capa fótica,

mientras los dinoflagelados dominaron en momentos de estratificación en los periodos cálidos y con escasez de nutrientes. En aquellos estratos donde se observó el máximo profundo de clorofila también se encontraron las máximas concentraciones de diatomeas, apareciendo solamente un ligero desfase entre clorofila y abundancia de células de fitoplancton durante la homotermia invernal.

Parece, con todo ello, que las entradas de energía desde el exterior de la zona fótica basadas en aporte de nutrientes fueron siempre seguidas por picos de abundancia, donde las diatomeas marcaron la pauta principal. Solamente cuando este grupo decreció en número otros organismos fueron abundantes. Durante el invierno, fenómenos de afloramiento, junto a la presencia de aguas del norte del Mediterráneo, ocasionaron un *bloom* fitoplanctónico con especies típicas de aguas frías. Por el contrario, desde finales de la primavera y durante el verano, se hizo notar en la zona la influencia de aguas más atlánticas, apareciendo especies de niveles más profundos en los niveles de 50-70 m de la columna de agua estudiada. La existencia de corrientes de origen atlántico atravesando la zona y enriqueciendo el área en esta época no parece ponerse en duda, lo que se manifiesta con la aparición y distribución de cierto fitoplancton y características hidrográficas determinadas, donde los procesos de advección cobran importancia (Margalef, 1989; Vives, 1989).

## Zooplankton

### Biomasa

La media anual de la biomasa del mesozooplankton (más de 250  $\mu\text{m}$ ), expresada como peso seco, fue de 7,34  $\text{mg}/\text{m}^3$  (64 % de materia orgánica), con un rango que osciló entre 15,5  $\text{mg}/\text{m}^3$  (55 % de materia orgánica) en el mes de junio y un mínimo de 1,40  $\text{mg}/\text{m}^3$  (78 % de materia orgánica) a comienzos del mes de marzo. Si bien el máximo del mes de junio duró casi un mes,

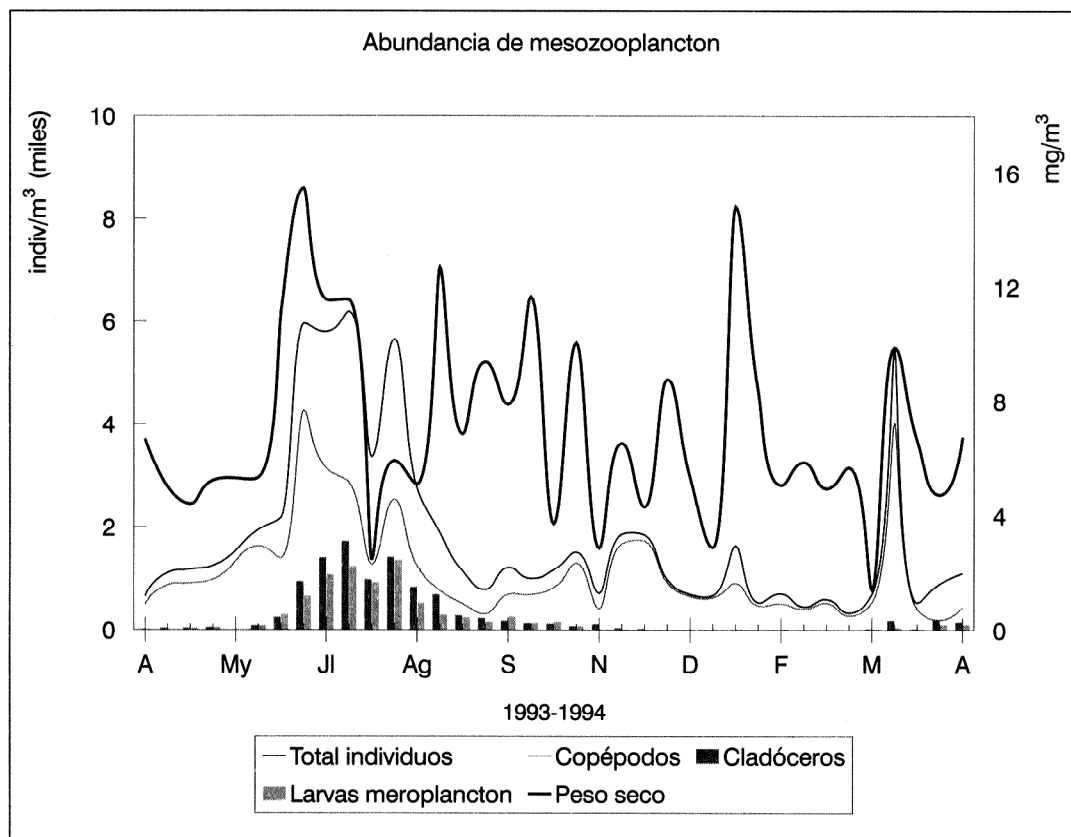


Figura 12. Variación temporal de la biomasa zooplanctónica expresada como peso seco ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y de la comunidad zooplanctónica ( $\text{indiv}/\text{m}^3$ ).

el mínimo del mes de marzo fue muy puntual, encontrándose valores de este tipo esporádicamente a lo largo del año (como a finales de julio, noviembre y principios del mes de enero). Todos estos valores marcaron la curva de distribución zooplanctónica, con oscilaciones irregulares a lo largo del año, donde la mediana fue de  $6 \text{ mg}/\text{m}^3$  y la desviación estándar de 3,79 ( $n = 35$ ). La variación temporal a lo largo del año se representa en la figura 12, donde se observa el máximo en el mes de junio, que relacionamos con el máximo valor de fitoplancton encontrado en las proximidades del fondo de la estación 20 días antes. Todo lo que hemos relacionado con la entrada de aguas de procedencia atlántica a la zona (valores próximos a  $15^\circ\text{C}$  y menos de 37 ups). En el año 1993, durante el verano, se observaron fluctuaciones irregulares, debidas a

protozoos del grupo de los radiolarios que abundaron en la zona hasta bien entrado el otoño. A principios del año 1994, y coincidiendo con el máximo invernal de fitoplancton, volvimos a observar otro aumento de la biomasa con valores de  $14,82 \text{ mg}/\text{m}^3$  (62 % de materia orgánica) debido, además de a la gran cantidad de fitoplancton, a pequeños individuos del zooplancton. En el mes de marzo también se apreció un aumento de la biomasa, aunque este no fue tan importante como el del mes de junio. En general, a lo largo del año de estudio los valores obtenidos fueron bastante bajos, inferiores a los citados en la plataforma ibérica peninsular (Vives, 1966; Rodríguez, 1983), aunque ligeramente superiores a los citados para el mar Balear (Fernández de Puelles, 1990). El conjunto, sin embargo, puede ser considerado dentro

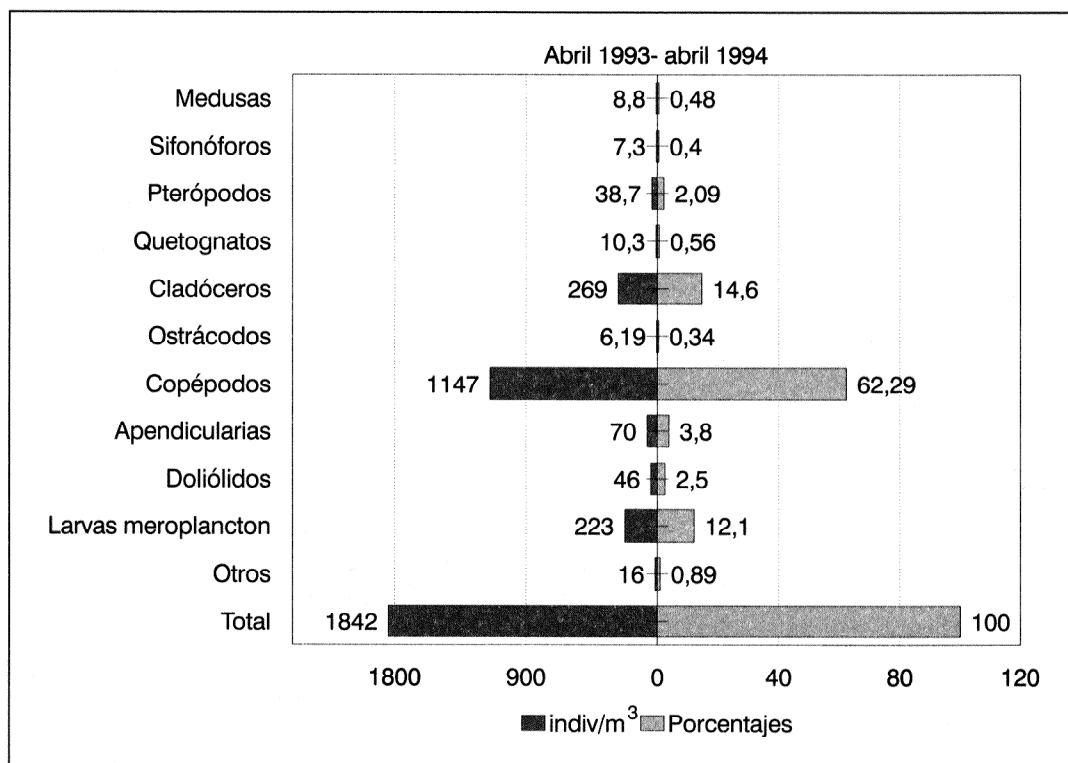


Figura 13. Valor medio de los principales grupos del zooplancton durante el año de estudio: abundancias absoluta y relativa.

de la generalidad de valores correspondientes a zonas neríticas del Mediterráneo occidental (Gaudy, 1985). Al comparar la variación anual con los anteriores trabajos hemos podido observar picos de abundancia en invierno y/o primavera, aunque no está tan definido en la época estival; sin embargo, Razouls y Kouwenberg (1993) citan máximos similares durante el verano en zonas neríticas del norte del Mediterráneo occidental, donde ponen de manifiesto la notable irregularidad de los máximos encontrados.

#### *Abundancia y variación cualitativa*

La media anual de organismos del zooplancton estimados durante el año de estudio fue de 1 842 indiv/m³ ( $n = 36$ ), identificándose más de 60 especies repartidas en 20 grupos taxonómicos diferentes. El rango de variación osciló entre los 328

indiv/m³ de principios del mes de marzo y los 6 192 indiv/m³ del mes de junio. Al comparar los valores de abundancia con los de biomasa no se obtuvo correlación alta debido al cambio en tamaño y peso de los distintos organismos encontrados y a la gran cantidad de protozoos recogidos durante la época estival. El grupo de los copépodos fue siempre el más abundante, con una media anual de 1 147 indiv/m³ (desviación estándar DS = 1 018), identificándose 45 especies diferentes. En la variación temporal a lo largo del año (figura 12) se puede apreciar el máximo citado de la época estival, que fue debido, además de al grupo de los copépodos y de los cladoceros, a gran cantidad de larvas del mero-plancton, especialmente gasterópodos y lamelibranquios. Bien entrado el otoño se observó un ligero aumento del zooplancton, si bien hasta el mes de marzo no se apreció un aumento importante en la abundancia de individuos. Los distintos

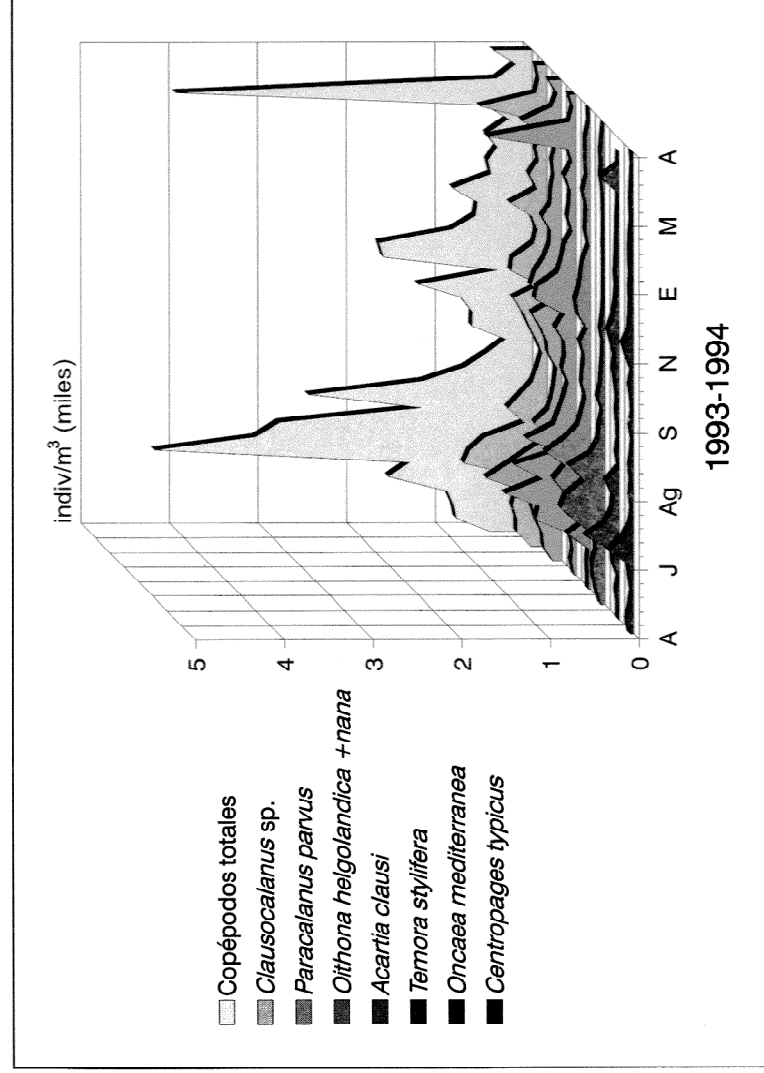


Figura 14. Especies de copépodos más abundantes (indiv/m<sup>3</sup>) durante el año de estudio: variación temporal.

grupos encontrados en el área durante el año de estudio, así como sus importancias absolutas y relativas, pueden verse en la figura 13, con los porcentajes de los grupos zooplancónicos más parecidos a lo observado en el sur que en el norte del Mediterráneo occidental (Gaudy, 1985).

Es importante destacar que el aumento apreciado en enero en la variación de la biomasa, coincidiendo con la proliferación fitoplanctónica, no fue debido a organismos del mesozooplancton, sino a una gran cantidad de nauplius de copépodos que se encontraron junto a las diatomeas coloniales en el momento del *bloom* y que fueron recogidos con malla de mesozooplancton (250 µm). El pico observado a finales del mes de marzo fue debido, fundamentalmente, a la notable abundancia de copépodos, los que llegaron a alcanzar 4 023 indiv/m<sup>3</sup> (74 % del total). Sin embargo, en el mes de junio se obtuvo el máximo de copépodos (4 260 indiv/m<sup>3</sup>). Es importante considerar que mientras en el

pico de este mes la mayor parte de los copépodos eran adultos y copepoditos V y VI, en el mes de marzo se recogieron gran cantidad de copepoditos muy jóvenes, tanto calanoides como ciclopoides (50 %). A lo largo del año las especies más representadas (figura 14) fueron *Oncaea mediterranea* (Claus, 1863) con el 4 %; *Centropages typicus* (Kroyer, 1848) con el 4,2 %; *Temora stylifera* (Dana 1848) con el 7 %; *Acartia clausi* (Giesbrecht, 1889) con el 11 %; *Oithona helgolandica* (Claus, 1863) y *O. nana* (Giesbrecht, 1892) con el 19 %; *Paracalanus parvus* (Claus, 1863) con el 20,4 % y *Clausocalanus* spp. con el 26 %).

Mientras la mayoría de las especies estuvieron presentes durante casi todo el año, algunas, como *T. stylifera*, fueron más abundantes en verano, y otras, como *C. typicus* e *Isias clavipes* (Boeck, 1864) fueron más abundantes durante el invierno. Los cladóceros que también abundaron en el periodo estival estuvieron representados por

*Evadne spinifera* (Muller, 1868), *E. tergestina* (Claus, 1863) y *Penilia avirostris* (Dana, 1849) fundamentalmente.

En general, y con las excepciones comentadas, la comunidad del zooplancton se caracterizó por la presencia de grupos constantes a lo largo del año, estando no sólo representada la zona nerítica por los copépodos y cladoceros anteriormente mencionados sino, también, el quetognato *Sagitta*, las larvas de la apendicularia *Oikopleura dioica* (Fol, 1872) y el doliolido *Doliolum nationalis* (Borgert, 1894) (Grás, Gomis y Fernández de Puelles, 1995).

Aunque por los valores de fitoplancton hallados la zona puede ser considerada como de pobreza cuantitativa (que no cualitativa), por los valores de zooplancton esto no parece tan claro, pudiendo caracterizarse en su composición básica como nerítica y de mezcla de aguas costeras y oceánicas, con rangos que han oscilado dentro de un patrón correspondiente al Mediterráneo occidental (Vives, 1966; Rodríguez, 1983; Carbonell y Jansá, 1983; Vives y López Jurado, 1988). No obstante, podemos decir que los elementos neríticos que más abundaron dentro de la fracción perenne fueron de amplia distribución como *Clausocalanus*,

*Paracalanus*, *Oikopleura* y *D. nationalis*; durante el verano, aunque abundaron elementos locales como las larvas de gasterópodos y lamelibranquios, también encontramos indicadores de aguas exteriores como *Ctenocalanus vanus* (Giesbrecht, 1888), *Candacia armata* ((Boeck, 1872) o *Farranula rostrata* (Claus, 1863) (todas ellas en mayor cantidad). El carácter transicional entre las comunidades neríticas más mediterráneas y las de tipo atlántico, con especies como *Centropages chierchiae* (Giesbrecht, 1889) y *Acartia danae* (Giesbrecht, 1889), ha persistido, pareciendo la estructura encontrada muy similar a lo largo de toda la zona nerítica del Mediterráneo occidental. Son varios los autores que han analizado la composición específica de las diversas comunidades neríticas y que han definido el conjunto de especies que las constituyen (Seguin, 1972; Razouls, 1974; Furnestin, 1968); según ellos, el conjunto de estas especies básicas es idéntico y semejante entre Málaga y Argel, debido fundamentalmente a la mayor influencia atlántica que reciben.

Esta semejanza se generaliza a la mayoría de las comunidades neríticas de las regiones templadas y cálidas (Gaudy, 1985),

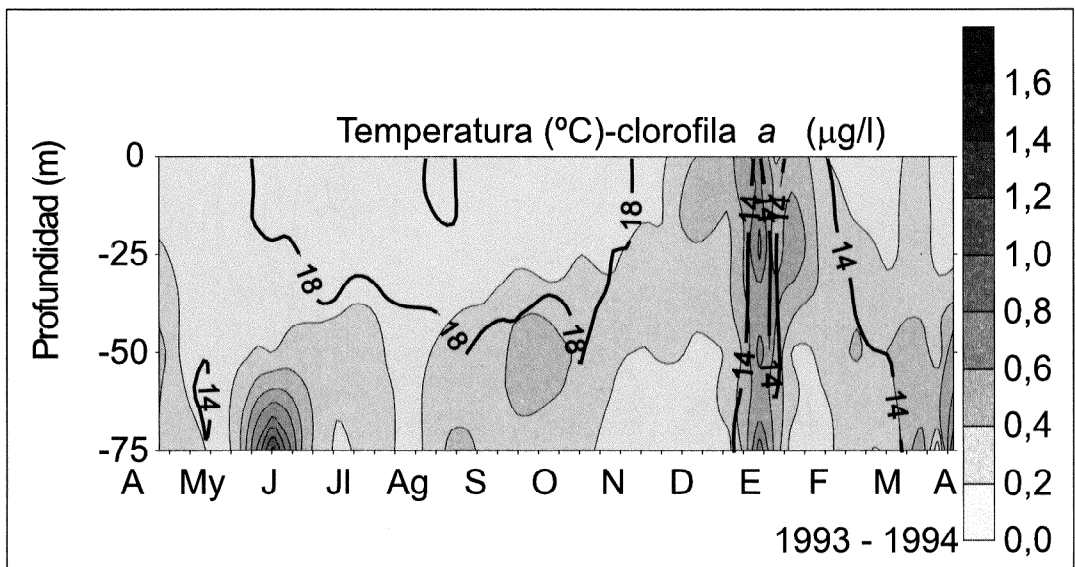


Figura 15. Relación de la biomasa fitoplanctónica expresada como clorofila a ( $\mu\text{g/l}$ ) y la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) durante el año de estudio.

poniéndose de manifiesto las diferencias, sobre todo a nivel específico, sustituyéndose algunas especies por otras de similares características, siendo los géneros a menudo los mismos y las familias comunes. Así, la presencia de un número limitado de familias como representantes de características morfológicas diferentes puede permitir, especialmente en el aspecto trófico, una mejor explotación del biotopo, constituyendo una adaptación a los diferentes nichos ecológicos de la provincia nerítica. La especialización intervendría secundariamente en función de las distintas características de cada región.

## CONCLUSIONES

Considerando todo lo anterior, y aunque sería pretencioso definir la estructura y funcionamiento de la comunidad planctónica a partir del año estudiado, sí se pueden establecer, con las variables analizadas, algunos patrones generales de distribución de estas comunidades así como las principales relaciones entre los componentes bióticos y abióticos más significativos en el área. En ella se puede destacar la enorme complejidad de dichas interacciones, a la

que contribuye la existencia de unas comunidades bien estructuradas donde predominaron las bajas concentraciones de células fitoplanctónicas y elevada diversidad, lo que era de esperar en un sistema tan oligotrófico. La situación térmica observada nos permitió diferenciar dos épocas muy claras a lo largo del año: una de mayo a octubre, de aguas estratificadas, marcada por una fuerte termoclina estacional que condicionó la escasa producción de esta época a los niveles más profundos (por debajo de la isoterma de 18 °C) y otra de homotermia invernal (13,4 °C) de diciembre a febrero, cuando, gracias a la reserva de nutrientes en la columna de agua y a condiciones meteorológicas óptimas, se desencadenaron toda una serie de procesos que proporcionaron una mayor producción en el área (figura 15).

Tras la casi desertización estival de nutrientes en superficie y con las primeras tormentas otoñales, fuertes precipitaciones y descenso de la temperatura, se produce un aporte de nutrientes a los niveles superiores de la columna de agua. Todo esto preparó la llegada del invierno, cuando los movimientos convectivos, favorecidos por la intensidad de los vientos predominantes del cuarto cuadrante, ocasionaron que el

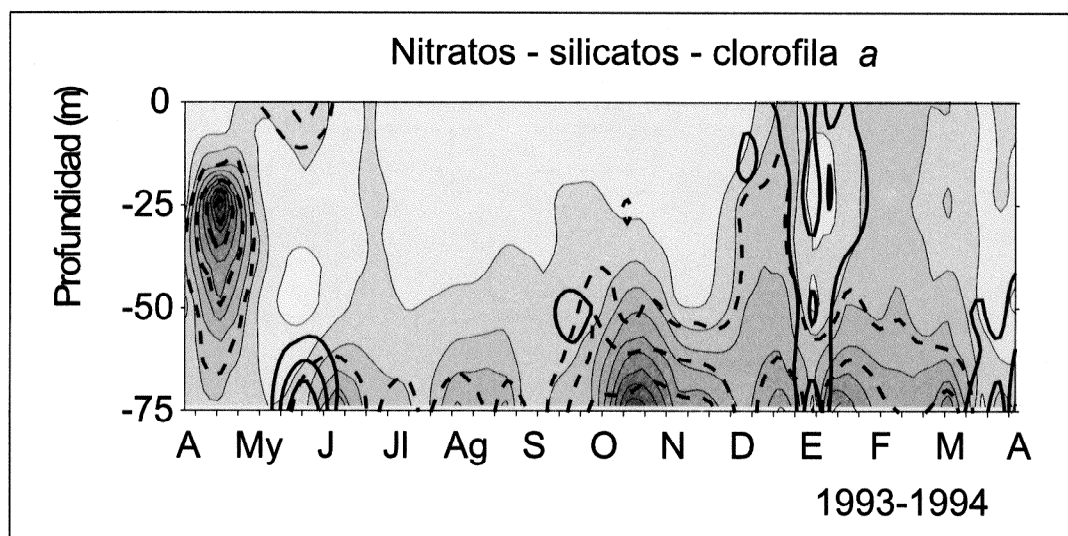


Figura 16. Variación temporal de los nitratos (línea discontinua), silicatos (trama) y clorofila *a* (línea continua).

afloramiento pudiera observarse en el área. Así, a finales del mes de enero las aguas salinas (38 ups) y frías (14 °C), ricas en nutrientes, que se encontraban en la zona, junto a los vientos intensos y fríos del noroeste, facilitaron el crecimiento del fitoplancton, llegando a agotar rápidamente la mayor parte de los nutrientes. Las frústulas de diatomeas no utilizadas tras la explosión fitoplanctónica inercial dieron lugar a una redisolución de silicatos remanentes en el medio, lo que pudo observarse durante un periodo más largo (figura 16). Con la entrada de la primavera y el calentamiento gradual de las capas superficiales, ligeros aportes de nutrientes se observaron en profundidades intermedias, pudiendo llegar posteriormente a ser importantes en las proximidades del fondo de la estación durante el periodo estival (máximo profundo de clorofila).

La comunidad zooplanctónica pareció estructurada en su composición básica general con un notable carácter nerítico, siendo más costera u oceánica según la época del año. Ya Vives (1989) comentó que las poblaciones de copépodos encontradas en la zona del mar Balear, durante la primavera, en las aguas superficiales septentrionales del canal de Mallorca, entre otras, estaban influidas por las aguas neríticas peninsulares. Por el contrario, a partir de mayo observó un notable cambio en la composición del zooplancton, mostrándose más oceánico. Si bien, el carácter de mezcla siempre parece persistir, nosotros apreciamos un mayor incremento de la influencia atlántica desde finales de primavera hasta bien entrado el otoño y de aguas superficiales del norte del Mediterráneo, en su deriva hacia el sur, mediante especies más ligadas a la homotermia inercial. Además, la mezcla de aguas oceánicas se ve favorecida por la estrechez de la plataforma insular y la característica principal de área abierta a la corriente general que circula por el canal de Mallorca.

La dinámica temporal de la comunidad muestra una serie de periodos de producción zooplanctónica ligados a las variaciones en la concentración de los nutrientes y

la proliferación fitoplanctónica, observándose picos de abundancia sobre fondos de poblaciones de fitoplancton sujetas principalmente a la actividad hidrográfica de la zona. De esta manera, el mayor acontecimiento de producción anual que se observó ocurrió en pleno invierno, cuando el agua rica en nutrientes alcanzó los niveles más superficiales de la capa fótica, pudiendo depender en un origen remoto de la profundidad de la mezcla vertical y de las condiciones climatológicas originadas en el norte del Mediterráneo occidental (Margalef, 1989). El máximo de fitoplancton observado a finales de primavera iría ligado a la entrada de aguas de influencia atlántica que conducirían al máximo anual de zooplancton, ya en el periodo estival. Y tras el descenso de la temperatura, con las primeras tormentas del otoño y rotura de la termoclina, parece ocurrir otro proceso, aunque muy ligero, de producción zooplanctónica. Estos tres acontecimientos, más o menos intensos, ocurren con regularidad año tras año en las diferentes partes del Mediterráneo occidental; sin embargo, parecen ser independientes unos de otros (Margalef, 1985). Sería la contribución local sujeta a la actividad hidrográfica de las zonas adyacentes la que produciría la mayor variación en intensidad, temporal y espacialmente.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Ignacio Reguera y Mariano Serra su ayuda en la recogida de muestras en el mar, así como a Pedro Sánchez, patrón de la embarcación *Arola*. Así como a Laura Vicente y a Ana Morilles su ayuda en el laboratorio. También queremos agradecer los comentarios y sugerencias a los dos evaluadores anónimos que sin duda han contribuido a la mejora y calidad del presente manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

Anónimo. 1966. Determination of photosynthetic pigment. En: *Monographs on Oceanographic*

- Methodology* 1: 11-18. SCOR/Unesco. Unesco. París: 115 pp.
- Anónimo. 1968. Zooplankton sampling. En: *Monographs on Oceanographic Methodology* 2. SCOR/Unesco. Unesco. París: 174 pp.
- Armstrong, F. A. K., C. R. Sterns y J. D. H. Strickland. 1967. The measurement of upwelling and subsequent biological processes by means of the technicon autoanalyzer and associated equipment. *Deep Sea Res.* 14: 381-389.
- Ballester, A., E. Arias, A. Cruzado, D. Blasco y J.M. Campos. 1967. Estudio hidrográfico de la costa catalana de junio 1965 a mayo 1967. *Inv. Pesq.* 31 (3): 621-662.
- Boltovskoy, D. 1981. *Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental*. Publicaciones del INIDEP. Argentina: 933 pp.
- Boucher, M. J., F. Ibáñez y L. Prieur. 1987. Daily and seasonal variation in the spatial distribution of zooplankton populations in relation to the physical structure in the Ligurian Sea. *Front. Journal of Marine Research* 45: 133-173.
- Bustillos-Guzmán, J., H. Claustre y J. C. Marty. 1995. Specific phytoplankton signatures and their relationship to hydrographic conditions in the coastal northwestern Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 124: 247-258.
- Carbonell, A. y J. Jansá. 1983. Zooplankton de la plataforma continental ibérica desde el Golfo de Valencia hasta el estrecho de Gibraltar. En: *Seminario Científico: Estudio oceanográfico de la plataforma continental* (15-18 de marzo, 1983. Cádiz, España). J. Castelví (ed.): 281-304.
- Durán, M. y J. Jansá. 1986. Distribution verticale des chlorophylles planctoniques dans l'eau voisines de la île de Majorca. *Rapp. Comm. Int. Mer Méditer.* 30 (2): p. 184.
- Estrada, M. 1985. Deep phytoplankton and chlorophyll maxima in the Western Mediterranean. En: *Mediterranean Marine Ecosystems*. M. Moraitou-Apostolopoulou y V. Kiortsis (eds.). Plenum Press. Nueva York: 247-276.
- Estrada, M. y R. Margalef. 1988. Supply of nutrients to the Mediterranean photic zone along a persistent front. *Oceanol. Acta. Special Issue* 9: 133-142.
- Estrada, M., F. Vives y M. Alcaraz. 1989. Vida y producción en el mar abierto. En: *El Mediterráneo Occidental*. R. Margalef (ed.). Barcelona: 150-199.
- Fernández de Puelles, M. L. 1990. Evolución temporal de la biomasa zooplanctónica en el Mar Balear. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 6 (1): 95-106.
- Forteza, V., A. Martínez Taberner y G. Moyá. 1988. Approximation to the chlorophyll a distribution in the Balearic Sea. *Rapp. Comm. Int. Mer Méditer.* 31 (2): p. 224.
- Furnestin, M. L. 1960. Hydrologie de la Méditerranée occidentale. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.* 24 (1): 5-120.
- Furnestin, M. L. 1968. Le zooplancton de la Méditerranée (bassin occidental) Essai de synthèse. *J. Conseil* 32 (1): 29-69.
- García, E., J. Tintoré, J. M. Pinot, J. Font y M. Manríquez. 1994. Surface concentration and dynamics of the Balearic Sea. Seasonal and interannual variability of the Western Mediterranean Sea. *Coastal and Estuarine Studies* 46: 73-91.
- Gaudy, R. 1985. Features and peculiarities of the zooplankton communities from the Western Mediterranean. En: *Mediterranean Marine Ecosystems*. M. Moraitou-Apostolopoulou y V. Kiortsis (eds.): 279-302. Plenum Press. Nueva York.
- Gomis, C. y M. L. Fernández de Puelles. 1995. The phytoplankton cycle in the South-West of the Majorcan Shelf (Balearic Islands) Seasonal distribution. *Rapp. Comm. Int. Mer Méditer.* 34: p. 207.
- Grás, D., C. Gomis y M. L. Fernández de Puelles. 1995. Faunistic study of the mesozooplankton from the SW of Mallorca. *Rapp. Comm. Int. Mer Méditer.* 34: p. 208.
- Herrera, J. y R. Margalef. 1963. Hidrografía y fitoplancton de la costa comprendida entre Castellón y la desembocadura del Ebro, de julio de 1960 a junio de 1961. *Inv. Pesq.* 24: 33-112.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes and J. D. H. Strickland. 1966. Fluorometric determination of Chlorophyll. *J. Conseil* 30: 3-15.
- Horwood, J. S. y R. M. Driver. 1976. A note on a theoretical subsampling distribution of macroplankton. *Journal du Conseil CIESM* 36 (3): 274-176.
- Jansá, J. 1985. Nota sobre el zooplancton de las principales bahías y puertos de Baleares. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 2 (1): 108-131.
- Jansá, J. y A. Carbonell. 1988. Aspectos del plancton de la bahía de Palma en 1982. *Boletín de la Sociedad de Historia Natural. Baleares*. Universidad de las Islas Baleares 32: 93-114.
- Jansá, J. y M. L. Fernández de Puelles. 1990. Distribución espacio temporal del zooplancton en el mar Balear. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 6 (2): 107-136.
- Jansá, J., M. L. Fernández de Puelles, J. L. López-Jurado, B. Amengual, O. Reñones y A. Mori-



- illas. 1994. Variación anual de los factores físico-químicos y biológicos de la bahía de Palma de 1988-1992. *Inf. Téc. Inst. Esp. Oceanogr.* 152: 83 pp.
- La Violette, P. E., J. Tintoré y J. Font. 1990. The surface circulation of the Balearic Sea. *Journal Geophysical Research* 95 (C2): 1559-1568.
- Le Borgne, R. 1975. Methods of mesures des biovolumes, poids secs sans cendre et des elements C. N. P. du mesozooplankton utilises au CRO d'Abidjan Doc Scient. *Cent. Rech. Oceanogr. (Abidjan) Doc. Sci.* VI (2): 165-176.
- López-Jurado, J. L., J. García Lafuente, J. M. Pinot y A. Alvarez. 1996. Water exchanges in the Balearic channels. En: *Dynamics of Mediterranean Straits and Channels*. F. Briend (ed.). *Bulletin de l'Institut Oceanographique. Monaco.* Special Issue 17; CIESM Science Series 2: 41-63.
- Lovegrove, T. 1966. The determination of the dry weight of plankton and the effect of varios factors on the values obtained. En: *Some contemporary studies in Marine Science*. J. Barnes (ed.): 429-467. Londres.
- Margalef, R. 1985. Environmental control of the mesoscale distribution of primary producers and its bearing to primary production in the Western Mediterranean. En: *Mediterranean Marine Ecosystems*. M. Moraitou-Apostolopoulou y V. Kiortsis (eds.): 213-229. Plenum Press. Nueva York.
- Margalef, R. 1986. *Ecología*. Omega. Barcelona: 951 pp.
- Margalef, R. 1989. *El Mediterráneo Occidental*. Omega. Barcelona: 374 pp.
- Margalef, R. y J. Herrera, 1963. Hidrografía y fitoplancton de las costas de Castellón, de julio de 1959 a junio de 1960. *Inv. Pesq.* 22: 49-109.
- Razouls, C. 1974. Estimation de la production globale des Copepodes planctoniques dans la Provence neritique du Golfe de Lion. I. Variations annuelles quantitatives. *Vie et Milieu* 24 (2): 257-280.
- Razouls, C. y H. M. Kouwenberg. 1993. Spatial distribution and seasonal variation of mesozooplankton biomass in the Gulf of Lions. *Oceanol. Acta* 16 (4): 393-402.
- Rodríguez, J. 1982. Estudio de la comunidad planctónica nerítica en el Mar de Alborán. I. ciclo de los factores ambientales y fitoplancton. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 7 (1): 97-114.
- Rodríguez, J. 1983. Estudio de la comunidad plantónica nerítica en el Mar de Alborán. II. Ciclo del zooplankton. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 1 (1): 19-44.
- Salat, J. y A. Cruzado. 1981. Masses d'eau dans la mediterranee occidentale: Mer Catalane et eaux adjacentes. *Rapp. Comm. Int. Mer Méditer.* 27 (6): 201-209.
- Salvá, C. y M. L. Fernández de Puellcs. 1992. Variación temporal del zooplankton en la Bahía de Palma. *Boletín de la Sociedad de Historia Natural. Baleares*. Universidad de las Islas Baleares. A. Alemany (ed.) I: 315-319.
- Seguin, G. 1972. Sur la presence, dans les eaux d'Alger de Copépodes considerés comme d'origine atlantique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord* 63 (3-4): 25-32.
- Seguin, G. 1981. Dynamique des Copepodes pelagiques en rade de Villefranche-sur-Mer a partir de prelevements quotidiens (année 1972). Bilan quantitatif et ecologique. *Oceanol. Acta* 4 (4): 405-414.
- Sournia, A. 1978. Phytoplankton Manual. *Mono-graphs on Oceanographic Methodology* 6: 240 pp. Unesco. París.
- Treguer, P. y P. Le Corre. 1975. *Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'autoanalyseur II technicon)*. Laboratoire d'Océanologie Chimique. Université de Bretagne Occidentale. Brest: 110 pp.
- Vives, F. 1966. Zooplankton nerítico de las aguas de Castellón. *Inv. Pesq.* 30: 49-166.
- Vives F. (ed.). 1989. Oceanografía y Explotación pesquera (pelágicos) en el Archipiélago Balear. Informe final del proyecto ID-823 CAICYT y CSIC (IEO, UIB). Palma de Mallorca: 455 + 243 pp.
- Vives, F. y J. L. López-Jurado. 1988. Les copepodes des iles Balcares en rapport avec les masses d'eau. *Rapp. Comm. Int. Mer Méditer.* 31 (2): p. 234.
- Weinberg, S. 1976. Submarine daylight and ecology. *Marine Biology* 37: 292-304.

Recibido en febrero de 1997. Aceptado en noviembre de 1997.